



袁静, 续子茂, 罗浩, 等. 2024. 地磁活动对人类健康影响的研究进展. 地球物理学进展, 39(4): 1390-1400, doi:10.6038/pg2024HH0294.

YUAN Jing, XU ZiMao, LUO Hao, et al. 2024. Research progress on the impact of geomagnetic activity on human health. *Progress in Geophysics* (in Chinese), 39(4): 1390-1400, doi:10.6038/pg2024HH0294.

## 地磁活动对人类健康影响的研究进展

### Research progress on the impact of geomagnetic activity on human health

袁静<sup>1</sup>, 续子茂<sup>1</sup>, 罗浩<sup>2\*</sup>, 江晨光<sup>3</sup>, 韩冰<sup>4</sup>, 傅斯杨<sup>1</sup>, 李梦平<sup>1</sup>, 洪珊<sup>1</sup>, 刘铭<sup>1</sup>, 刘彦良<sup>1</sup>

YUAN Jing<sup>1</sup>, XU ZiMao<sup>1</sup>, LUO Hao<sup>2\*</sup>, JIANG ChenGuang<sup>3</sup>, HAN Bing<sup>4</sup>, FU SiYang<sup>1</sup>, LI MengPing<sup>1</sup>, HONG Shan<sup>1</sup>, LIU Ming<sup>1</sup>, LIU YanLiang<sup>1</sup>

1. 防灾科技学院, 廊坊 065201

2. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029

3. 东南大学中大医院, 南京 210009

4. 中国地震局地质研究所, 北京 100029

1. Institute of Disaster Prevention, Langfang 065201, China

2. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

3. Zhongda Hospital Southeast University, Nanjing 210009, China

4. Institute of Geology, China Earthquake Administrator, Beijing 100029, China

**摘要** 地磁活动是地球内外源磁场时空变化的总称, 作为探索地球空间环境的重要媒介, 一直是地球科学领域中的研究焦点. 近年来, 地磁活动对人类健康造成的影响引起了广泛的关注, 也成为了一个新的研究热点. 本文基于该领域的文献资料, 系统地综述了地磁活动对人类健康的相关影响: 首先总结了太阳活动引起的磁暴等地磁活动对心脑血管疾病、精神类疾病和其他生理状态(疾病)产生的负面影响, 并对该影响的产生机理进行医学解释; 其次从地磁活动与人类健康相关理论体系的建立、地磁活动事件的预测预警、地磁活动危害的防护措施等三个角度对其未来进行展望. 为将来进一步深入探讨该领域的研究人员提供了可行性参考, 具有现实意义.

**关键词** 地磁活动; 人类心脑血管疾病; 人类精神疾病; 人体生理状态

**中图分类号** P318

**文献标识码** A

**doi:**10.6038/pg2024HH0294

**Abstract** Geomagnetic activity, which refers to the time and space variations of Earth's internal and external magnetic fields, has always been a research focus in the field of Earth sciences and acts as an important medium in exploring the Earth's space environment. In recent years, the impact of geomagnetic activity on human health has gained widespread attention, becoming a new research hotspot. Based on existing literature in this field, this paper systematically reviews the effects of geomagnetic activity on human health: It first summarizes the negative impacts of geomagnetic phenomena like magnetic storms caused by solar activity on cardiovascular and cerebrovascular diseases, mental health disorders, and other physiological states (illnesses), along with a medical interpretation of these effects' mechanisms. The paper then looks forward to the future from three aspects: the establishment of a theoretical system linking geomagnetic activity and human health, the prediction and early warning of geomagnetic events, and protective measures against the hazards of geomagnetic activity. This provides a feasible reference for researchers further exploring this area and has significant practical significance.

**Keywords** Geomagnetic activity; Human cardiovascular and cerebrovascular diseases; Human mental illness; Physiological state of the human body

收稿日期 2023-08-11; 修回日期 2023-11-05.

投稿网址 <http://www.progeophys.cn>

基金项目 中国地震局教师科研基金项目(20150109)资助.

第一作者简介 袁静, 女, 1981 年生, 博士, 副教授, 2019 年毕业于清华大学, 主要从事电磁数据智能处理方面的研究工作.

E-mail: yuanjing20110824@sina.com

\* 通讯作者 罗浩, 男, 1982 年生, 博士, 副研究员, 2011 年毕业于中国科学院地质与地球物理研究所, 主要从事地磁场相关方面的研究.

E-mail: luohao@mail.iggcas.ac.cn

0 引言

地球磁场是地球内部液态外核磁流体发电机形成,并延伸到太空的磁场.地磁活动(Geomagnetic Activity, GMA)是指地球磁场在时间和空间上的变化,包括磁场的强度、方向和形态的变化.GMA与人类身体健康之间存在相关性,强烈的GMA会在较大程度上影响人体健康,甚至直接导致死亡(Mavromichalaki *et al.*, 2021).

地磁扰动(Geomagnetic Disturbance, GMD)是重要的地磁活动之一,主要包括地磁风暴(磁暴)、地磁亚暴、地磁脉动等变化磁场(Clarke *et al.*, 2008),它们的主要特点是出现时间不规则,变化形态复杂,全球和区域特征明显.磁暴主要是由于太阳日冕物质抛射在行星际空间传播,并到达地球空间所引起的全球空间环境剧烈的扰动事件(金巍等, 2017).地磁脉动地面磁场的周期性扰动,它也是地磁扰动的一种,是太阳风能量进入磁层所激发的超低频波(ULF波)在地面的响应(Jacobs and Westphal, 1964).地磁脉动可以分为两大类:第一大类称为连续脉动,其振荡曲线起伏且规则,国际通用符号为Pc;第二大类称为不规则脉动,其振荡曲线较Pc不规则,国际通用符号为Pi(Saito, 1969),地磁脉动作为探索空间环境的重要媒介一直是地球空间物理的研究热点之一.

地磁活动不仅仅能帮助人类探索地球空间环境,也会对人类的健康造成一定的影响(Kleimenova *et al.*, 2007b; Jacobs and Westphal, 1964).已有的研究资料表明地磁活动会引起心脑血管疾病、精神疾病以及其他相关疾病的发生,甚至会引起一些病人发病死亡.本文基于已有研究资料,从心脑血管疾病、精神类疾病以及人体正常生理状态等三个方面总结地磁活动对人类健康的影响,文章综述脉络如图1所示.

1 对心脑血管类疾病的影响

心脑血管疾病是造成人类死亡的第一大死因,目前仍未有治愈心脑血管疾病的有效手段.Stoupel (1999)在1999年提出心脑血管疾病的发作及其导致的死亡与GMA特别是地磁脉动存在一定的关联,曾治权等(1995)在我国北京地区对冠心病、脑卒中发病与太阳、GMA的调查实验中证实了太阳活动及GMA与某些心血管疾病存在一定的关系.当地磁场(Geomagnetic Field, GMF)的扰动水平达到峰值时,

人类动脉高血压、心肌梗死发生率、心脑血管疾病发病率亦随之增加(Presman, 1970; 苏文华等, 2017),甚至在一些病例死亡的前几个小时,都观测到有明显Pc地磁脉动的发生(Stoupel, 1999).

1.1 血压

血压是指血液在血管内流动时作用于单位面积血管壁的侧压力,是推动血液在血管内流动的动力,通常包含收缩压(Systolic Blood Pressure, SBP)和舒张压(Diastolic Blood Pressure, DBP).SBP是心肌在心脏泵血阶段对血管施加的最大力,也称高压;DBP是指心脏舒张阶段的静息压力,也称低压.慢性高血压的定义是:收缩压为140 mm汞柱(mmHg)或更高,舒张压为90 mm汞柱或更高(刘力生, 2011).人体的血压具有一定的波动性,它会随着外界环境的变化、生理周期的改变、个体情绪的波动而变化(王月猛, 2018).Khabarova和Dimitrova(2009)的一项研究发现,DBP是心血管系统受外部参数变化最敏感的参数;SBP取决于人体的年龄、性别和慢性病等因素,SBP和DBP与水平方向的地磁场分量具有相关性,相关性在夜间最大;此外女性的SBP和DBP更容易发生明显变化,并且在太阳活动极小期和太阳活动上升周期的变化比太阳活动极大期的变化更大.

为了探究GMA对不同性别之间血压的影响,Azcárate和Mendoza(2017)在一项实验中的分析表明,在GMA的影响下,男性血压出现显著变化次数最多的是SBP,女性的生理参数可能比男性对GMA变化更敏感(Azcárate *et al.*, 2016).在严重的局部地磁活动期间,男性和女性的动脉血压(Arterial Blood Pressure, ABP)均显著增加,但女性的SBP反应最为明显.此外,在强烈的GMA中,女性的脉搏压(Pulse Pressure, PP)和一些主观的心理生理障碍(Subjective Psycho-physiological Complaints, SPPC)显著增加(Dimitrova, 2006).

Dimitrova(2005)在2001年秋季和2002年春季的每个工作日对一组86名志愿者进行了检查,并记录他们的SBP、DBP、心率(Heart Rate, HR)、PP和SPPC的数据,采用多元方差分析检验下列三种因素对生理参数影响的显著性:第一,分5级的局部GMA;第二,性别(男性和女性);第三,血压(低血压、正常血压、高血压).最终发现,随着局部GMA的增加,该组的SBP、DBP、PP和SPPC的平均值在统计学和生物学上显著增加,而且发现高血压患者是对地磁扰动最敏感的人群.

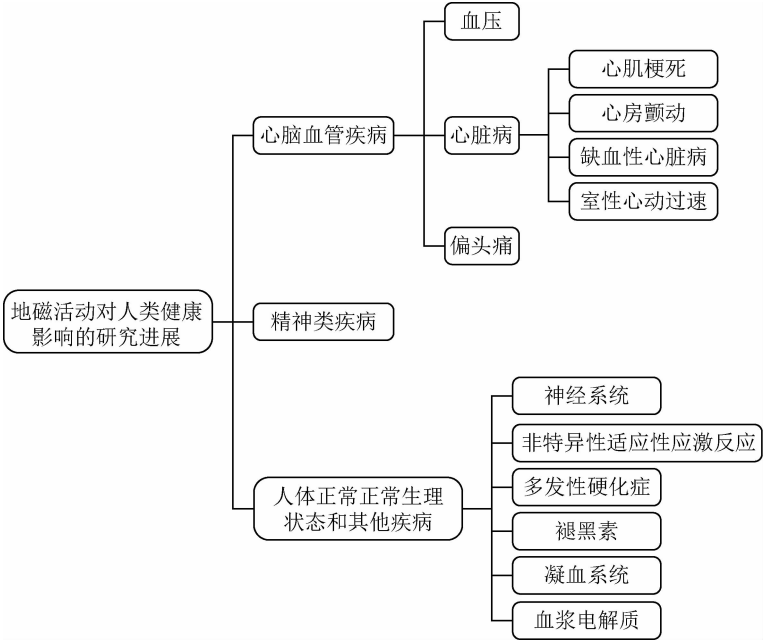


图 1 本文的综述脉络结构图

Fig. 1 Summary structure picture of this paper

根据 Khabarova 和 Dimitrova (2009) 的调查,在地磁暴发生之前和之后的几天里,人体 ABP 随着 GMA 发生次数的增加而升高,其 SBP 和 DBP 的平均增量达到 9%,结果表明,高血压患者的 ABP 对 GMA 的敏感性最高,低血压患者的敏感性最低 (Khabarova and Dimitrova, 2009; Azcárate and Mendoza, 2017; Azcárate *et al.*, 2016; Dimitrova, 2005; Wang *et al.*, 2021).

Stoupel (2002) 根据不同等级的 GMA,对 870 名接受药物治疗的高血压患者和 550 名健康献血者分别测量其 SBP 和 DBP,同时将地磁活动分为四个等级:稳定级 (Io),不稳定级 (IIo),活跃级 (IIIo) 和风暴级 (IVo). 通过 1419 天的观察发现:417 天是 Io 等级,589 天是 IIo 等级,339 天是 IIIo 等级,74 天是 IVo 等级. 高血压组在 IIIo 和 IVo 的 DBP (99100 mmHg) 明显高于 Io 和 IIo 天 (97.26 ~ 97.33 mmHg) ( $p < 0.05 \sim 0.07$ ). 在健康志愿者中,IIo-IVo 的 DBP 高于 Io ( $p < 0.01 \sim 0.02$ ). IVo 时的 PP 比 Io 时低 ( $p < 0.01$ ); Io-IIIo 日 SBP 略有下降 (从 154 ~ 157 至 150 mmHg),同时 DBP 升高.

此外 Stoupel (2002) 发现,GMA 与妊娠高血压综合征 (Pregnancy-Induced Hypertensionsyndrome, PIH) 存在着关系. PIH 是一种常见的危及生命的疾病,其发病机制尚不明确,会使人体多器官受到影

响. Stoupel (2002) 在研究的 19843 例分娩中,628 例与 PIH 相关 (3.2%),每月 GMA 指数与 60 个月内每月 PIH 病例数呈负相关. 结论指出,PIH 的发病也可能与 GMA 有关.

Gmitrova 和 Gmitrov (1990) 所做的一项实验发现与 GMA 相关的永久磁场 (Permanent Magnetic Field, PMF) 和人类血压存在关系. 在该实验的对照组和实验组中,输入去甲肾上腺素导致血压、心率和呼吸发生显著变化,图 2 为试验结果,在去甲肾上腺素诱导的高血压中应用 PMF 可显著降低高血压效应. PMF 对心脏和呼吸率没有显著变化. 结果表明,PMF 在人工造成的高血压条件下具有降压作用. 因此,在生物膜水平上获得的数据以及在组织水平上的结果可以证明:由于膜通道转运的变化,PMF 在颈静脉窦区域的作用可能改变 Ca + 压力感受器膜的通透性,并且在组织水平上检测到了 Cat + 浓度变化. 这些变化可能导致细胞膜的稳定,以及压力感受器对血压的变化使得缓冲能力增加.

Gmitrov (2007) 所做的一项实验发现,人类动脉压力反射敏感性 (Baroreflex Sensitivity, BRS) 恶化过程的发生,其潜在的生理机制与 GMA 有关. 研究发现,BRS 的降低是与交感神经激活、动脉高血压和心血管死亡率增加相关的最重要的心血管风险因素. GMA 活动期间 BRS 降低的宏观和微循环后果的耦

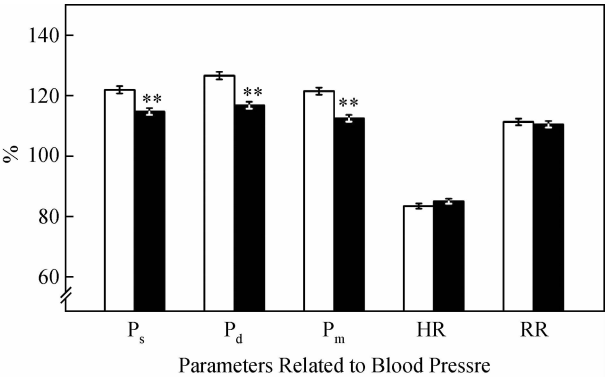


图2 去甲肾上腺素引起的高血压期间 PMF 在颈动脉窦区域局部作用后,动脉血压、心脏和呼吸频率的变化 (Gmitrova and Gmitrov, 1990)

Ps:收缩压;Pd:舒张压;Pm:平均动脉压;HR:心率;  
RR:呼吸频率. 白色部分:控制;黑色部分:30 min 的 PMF.  
Fig. 2 Arterial blood pressure, heart and respiration rate changes following local action of PMF on the carotid sinus area during norepinephrine-induced hypertension (Gmitrova and Gmitrov, 1990)  
Ps: systolic blood pressure; Pd: diastolic blood pressure;  
Pm: mean blood pressure; HR: heart rate; RR: respiration rate.  
White bar: control; black bars: PMF for 30 min.

合可能增加罹患心血管风险的几率。

1.2 心脏病

Stoupel (2002) 的一项研究表明,地球磁场共振振幅的增加会影响心血管系统,这很可能是因为地球磁场共振的频率与在心血管和自主神经系统中发现的频率在同一范围内,研究认为:观察到的某些神经激素和神经递质(如血清素或内皮素)的 GMA 相关变化可能是心血管形态学变化与形成血栓、斑块不稳定、血管痉挛、休克、心律失常(包括心搏骤停)等继发性局部和全身并发症之间桥梁的一部分;在不同的环境条件下,血管床、受体网络和神经激素调节不同的“行为”。李冠羲 (2019) 在我国云南地区的一项调查实验也表明,地磁活动与冠心病患者心率变化之间存在着相关性. 这些发现为心身联系,脑心关系,身体和心理等方面带来了新的想法。

1.2.1 心肌梗死 (Myocardial Infarction, MI)

穆宁晖 (2015) 在我国云南地区的某医院运用 Spearman 相关性分析方法开展了一项关于急性心肌梗死 (Acute Myocardial Infarction, AMI) 病例日发病数与 GMA 关系的研究实验. 实验结果发现,云南地区 AMI 发病与 GMA 的相关系数为 0.42,表明地磁活动事件可能通过某种机制对 AMI 的发病起一

定作用。

Jaruševičius 等 (2018) 通过对不同的地磁场频率进行的分析显示,不同的地磁场频率范围与 MI 有不同的相关性. Stoupel 等 (2012) 做了一项立陶宛 MI 患者参与的研究,过程中研究人员发现低 GMA 和高宇宙射线发生数天后的急性心肌梗死事件增加了五分之一. 结果表明,地磁场可能与 MI 的发生有关 (Stoupel, 2008).

男性女性 MI 病例均与局部地磁场的季节变化有关. Jaruševičius 等 (2018) 在一项研究中发现,所有被研究的患者组之间的相关性都有所不同,如年轻男性组和老年男性组中,MI 病例和 GMA 之间的相关性不同. MI 病例数与局部地磁场 (SDelta、STheta、SAlpha、SBeta 频率范围) 的变化呈较低的负相关性;局部地磁场高频 (SGamma) 范围的变化与 MI 病例数量的增加相关. Stoupel 等 (2004) 根据地球表面的中子监测数据显示,AMI 的月度数量与宇宙射线活动 (Cosmic Ray Activity, CRA) 水平呈显著相关性,与太阳活动 (Solar Activity, SA) 和 GMA 月度指数呈负相关. AMI 亚型与 GMA 日水平 (Io-IVo) 无显著相关性,并且所有的宇宙物理参数在女性患者中都表现得更强. 关于 AMI 标志物的研究,除了传统的诊断标准(胸痛、心电图变化、实验室检查和疾病早期血液检查中的酶学发现)外,还引入了血液中肌钙蛋白 (Troponin, Tn) 水平的升高来确认心肌细胞损伤 (Babuín and Jaffe, 2005). 其中 TnI、TnT 和 TnC 是参与心肌代谢的蛋白质分子。

此外 Stoupel 等 (2010) 的研究表明,AMI 患者血液中的 TnI 和 TnT 水平升高,有助于区分心肌损伤 (坏死) 患者和心肌缺血导致无心肌细胞损伤症状的患者不稳定型心绞痛 (Unstable Angina Pectoris, UAP) 和 ICD-10 中度冠脉综合征. Tn 与 AMI 相关,而与 UAP 无关. 在研究的所有月份中,检测到 SA 和 CRA 参数与 Tn 水平呈显著负相关 (Stoupel et al., 2018).

图 3 显示了 1971—1977 年间,保加利亚心肌梗死的月死亡数与博洛克天文台 Pc 地磁脉动的月发生数的对比 (Kleimenova et al., 2007a). 两条曲线之间的相似性很明显。

Kleimenova 等 (2007b) 做了一项研究,在与 AMI 相关的莫斯科救护车呼叫事件中,约 70% 的事件当天伴随着 Pc 地磁脉动的出现. 在冬季同时发生 AMI 和 Pc 地磁脉动的概率是它们的随机巧合的 1.5 倍. 在夏季,即使是非常强的地磁暴,伴随着 Pc 地磁脉

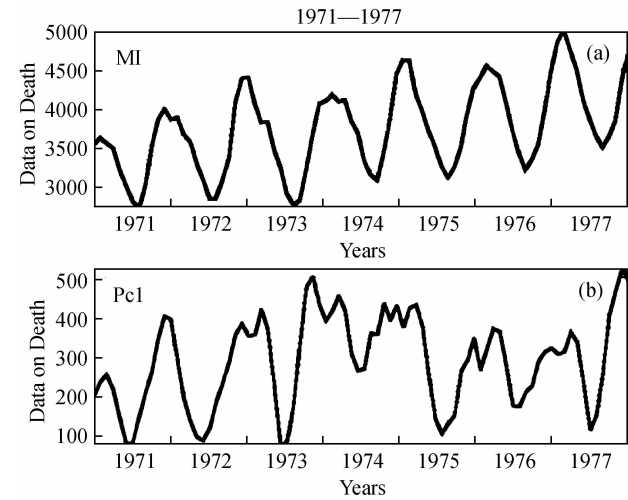


图3 1971—1977年保加利亚心肌梗死死亡的月数据与Pc地磁脉动的月活动情况的比较 (Kleimenova *et al.*, 2007a)  
Fig. 3 Comparison of monthly data on death from myocardial infarction with monthly activity of Pc pulsation in Bulgaria, 1971—1977 (Kleimenova *et al.*, 2007a)

动,也没有显示出对生物的影响,而在冬季,即使是中等的磁暴也变得更加影响生物. 研究认为,由于褪黑素产量的季节性变化导致的生物体的冬季物理状态不稳定性与冬季Pc发生最大值的结合,可能是MI冬季最大值和地磁暴的生物性效应增强的原因. Stoupe (2002)认为只有在GMA最低的时候,下壁心肌梗死才超过前壁心肌梗死.

Stoupe等(2012)所做的一项研究中,对1979—1981年间莫斯科救护车呼叫事件的摘要分析报告了心肌梗死(85700起事件)、猝死(71700起事件)和高血压危机(165500起事件),显示出明显的季节变化,其中夏季和冬季受到的影响最大. Kleimenova等(2007a)在对保加利亚15年(1970—1985年)每月梗死死亡率数据的分析也显示出同样的趋势. 影响人类心血管系统的生物因子之一可能是Pc地磁脉动,其频率与心律大体一致. 在季节趋势上,Pc地磁脉动在冬季强度最大. 莫斯科救护车呼叫数据与Pc地磁脉动观察数据目录的比较表明,在大约70%的日子里,异常大量的心肌梗死患者呼叫救护车时伴随着Pc地磁脉动的发生. 此外,还确定了冬季磁暴的生物各向异性影响远高于夏季. 冬季心肌梗死最可能原因之一是松果体激素-褪黑激素的产生有季节性的变化,这破坏了机体的稳定性,并增加了其对地磁活动的敏感性 (Stoupe *et al.*, 2012).

1.2.2 心房颤动

目前,绝大多数研究太阳生物圈关系的研究人

员都认为太阳能够影响生物圈的电磁性质. 磁场可以自由地穿透人体,磁场的变化可以改变人体的一些特性,因为生物体是导电介质,人体绝大部分生理活动由电生理介导 (Khabarova and Dimitrova, 2008). Presman (1970)在观察心血管疾病发病率和死亡率时发现,人体动脉高血压和心肌梗死发生率增加这种情况在当GMF的干扰水平(由K指数表示)达到峰值时发生的频率最大.

Stoupe等(2013)所做的实验研究结果表明,在CRA比较剧烈的日子里,有更多的医疗紧急情况和更多的死亡. 在大多数情况下,死亡是致命的心律失常或心脏静止不稳的结果. 同时在CRA比较剧烈的日子里,心脏性猝死的强烈趋势更常见. 将环境物理活动水平与人类医学数据联系起来分析后得出,由于地磁和宇宙线活动的变化,人类容易受到不利的健康影响,GMA的极高值和极低值都会对健康产生影响. 随着宇宙射线活动水平的增加,地磁扰动(即使地磁扰动非常微弱)可能会对人类健康和生理产生直接或间接的不利影响.

Zenchenk等(2014)做了一项研究,根据7名健康志愿者4年的血压和心率的日变化观察结果,发现了两种生理指标 (Physiological Index, PI)对气象参数(主要是气温)变化的反应. 第一类反应表现为每搏输出量 (Stroke Volume, SV)随温度升高而降低,并且对其他气象参数(大气压力和相对湿度)的依赖性较弱. 这种反应类型可以通过不同生理机制的组合来调节,以发展代偿-适应性反应. 具体而言,在高温下,SBP对温度的反应可能是由下丘脑中央结构的激活,静脉和皮肤动脉张力的降低以及循环液体量的减少引起的. 在低(负)值时,与甲状腺激活相关的T效应似乎占主导地位. 第二种反应表现为分钟血容量 (Minute Blood Volume, MBV)随温度升高(和大气压降低)而增长,并且(就所有指标而言)与对空气中缺氧(外部缺氧)的代偿-适应性反应的发展相一致. 仅在P(O<sub>2</sub>)较低时,观察到对部分氧含量的依赖性.

GMA也可能引发阵发性心房颤动 (Paroxysmal Atrial Fibrillation, PAF). Stoupe等(1994)在1993年(连续1185天)的PAF入院研究( $n = 653$ )中,再次观察到在I<sub>0</sub>GMA(0.65)天每日入院人数最多的趋势;每日入院人数为0.549(II<sub>0</sub>),0.508(III<sub>0</sub>)和0.356(IV<sub>0</sub>). 在GMA最低的日子里,PAF患者的入院人数明显多于GMA最高的日子( $p = 0.0004$ ) (Halberg *et al.*, 2005); PAF患者每日入院人数与

GMA 水平呈显著负相关( $r = -0.976$ ,  $p = 0.024$ ). 这在男性和女性患者中都观察到 (Sajedi and Abdollahi, 2017). 研究得出以下结论:第一,新发阵发性心房颤动患者的数量与每日 GMA 水平呈负相关,这种关系在男性中比女性更强,在 65 岁以上的患者中比 65 岁或以下的患者更强;第二,对于首次中风的患者,这种关系只在 65 岁或以下的男性中出现;第三,在所有首次卒中患者中,男女比例与每日 GMA 呈显著负相关.GMA 最低的天数的比例最高;第四,在最低 GMA 期间心脏电不稳定增加.

### 1.2.3 缺血性心脏病

Stoupe(2002)的一项研究指出,不同年龄段的人群对于 SA 和 GMA 的联系不同:在 65 岁以下的人群中,每月死亡人数与 GMA 相关,同时男性的死亡人数要高得多.在 65 ~ 74 岁的人群中,死亡分布与每月平均住院天数呈反比,但这仅适用于 GMA 趋势水平的男性,以及 65 ~ 74 岁患有缺血性心脏病 (Ischemic Heart Disease, IHD) 的人.对于那些 74 岁死于 IHD 的人来说,他们与 SA 和 GMA 都有显著的相关性,而男性的相关性更强.两个老年组与 SA 的关系相反,这可能是因为 IHD 与 SA 的总死亡人数组缺乏显著的统计关系.65 岁以下和 74 岁以下的死亡人数均与 302sE 相关.301 ~ 308 s 每月 GMA,但不包括 65 至 74 岁之间死亡的患者.

Mavromichalaki 等 (2021) 的研究结果显示,地磁和宇宙射线强度 (Cosmic Ray Intensity, CRI) 变化似乎对人类有机体的生理状态有影响.人类生理参数 (HR、呼吸频率 (RR)、BSP、DBP) 的变化似乎与地磁扰动和 CRI 的变化有关.当高水平的 GMA (当地磁风暴发生时) 和 CRI 降低,影响更为明显.正如 HR 和 RR 间隔所示,对于高水平的 GMA、SBP 和 DBP 具有最大或最小值,即地磁指数行星性等效日幅度 (AP) 和 Dst 的 III 和 IV 级.在地磁暴发生的日子里,Ap 和 Dst 指数 (地磁 Dst 指数就是以地磁监测数据为基础,描述某一时间段内地磁扰动的总体强度或某类磁扰强度的分级指标) (III 级和 IV 级) 的生理参数 SP、DP 和 RR 间隔有其最小值,而 HR 有其最大值.此外,在 CRI 变化期间也有类似的结果.CRI 降低与动脉血压和 HR 的变化相关.CRI 变化的 III 级和 II 级与生理参数 HR 和 DP 的最大值,RR 间隔和 SP 的最小值有关.太阳磁场极性反转与患者人数的心律失常类型相关,同时也与太阳、宇宙射线和地磁参数关系的符号和值有关.此外,与 S 型和 Ps 型心律失常相比,V1 型和 Vm 型心律失常患者的数

量似乎对太阳磁场极性符号的变化更敏感.

Stoupe(2002) 在另一项研究中,描述了稳定 (Io)、不稳定 (IIo)、活跃 (IIIo) 和风暴 (IVo) 四种情况.从贝林森医学中心接受冠状动脉造影的所有患者中随机选择 100 名男性和 100 名女性,这些患者的胸痛或缺血可能是严重冠状动脉疾病的预警.结果表明,这种严重的 (99% ~ 100%) 闭塞在男性中发生的频率更高.左前降支 (Left Anterior Descending branch, LAD) 闭塞率为 1.36;右冠状动脉 (Right Coronary Artery, RCA) 为 1.04.左回旋冠状动脉的比率为 2.3,高于 LAD 或 RCA.研究结果显示,在三条主要冠状动脉的调节方面可能存在一些性别差异.

Zenchenko 等 (2014) 在一项研究中发现,在 0.5 至 3.0 mHz 的频率范围内,不同年龄的健康人群在休息时的心率指标可能与 GMF 感应向量的变化同步.人体内部过程与地球磁场振动存在同步效应,并且可以通过使用无创诊断技术进行观测.

### 1.2.4 室性心动过速

长期频繁的室性心动过速 (Ventricular Tachycardia, VT) 发作 (即连续三次以上的室性早搏 (Ventricular Premature Contraction, VPC)) 与猝死的高风险相关. Stoupe(2002) 在一项单独的研究中,233 名 VT 患者中有 17 名患者在 5000 多项的 24 h 动态心电图监测研究中登记,他们在不同 GMA 水平上进行了重复的研究.连续观察 910 天 (节假日除外).尽管差异无统计学意义,但有一种趋势显示,与 IIIo、IVo 相比,IIIo 和 IIo 患者发生 VT 的次数更多 (0.247 次,每天 0.225 次).与 III 和暴雨 IV 天相比,I 和 II 天 VT 发生频率更高 ( $150.67 \pm 29.056$  到  $142.16 \pm 27.79$  次,  $t = 1.78$ ,  $p = 0.077$ ) 在最活跃的 GMA 日 (IV),VT 发生率最低 ( $132 \pm 21.38$ ).通过动态心电图监测,静脉曲张患者中登记的 VPC 总数在 I ~ II 为  $3271 \pm 710$ ,在 IIIo ~ IV 为  $1301 \pm 1558$ .

### 1.3 偏头痛

偏头痛是临床常见的原发性头痛,以发作性的一侧或双侧中、重度搏动样的头痛为特征,可伴有恶心呕吐、畏光怕声等症状,一般持续 4 ~ 72 h.具有反复发作的特点,属于慢性神经血管性疾病 (贾建平和陈生弟,2013). Stoupe(2002) 在一组神经学家的研究中,对 30 名患者 (23 名女性和 7 名男性;偏头痛多发于女性) 在 15 个月内的 486 例偏头痛的强度从 1 (轻度) 到 3 (重度) 进行了分级.记录总体得分以及与 GMA 水平相关程度.研究表明,发作的严重

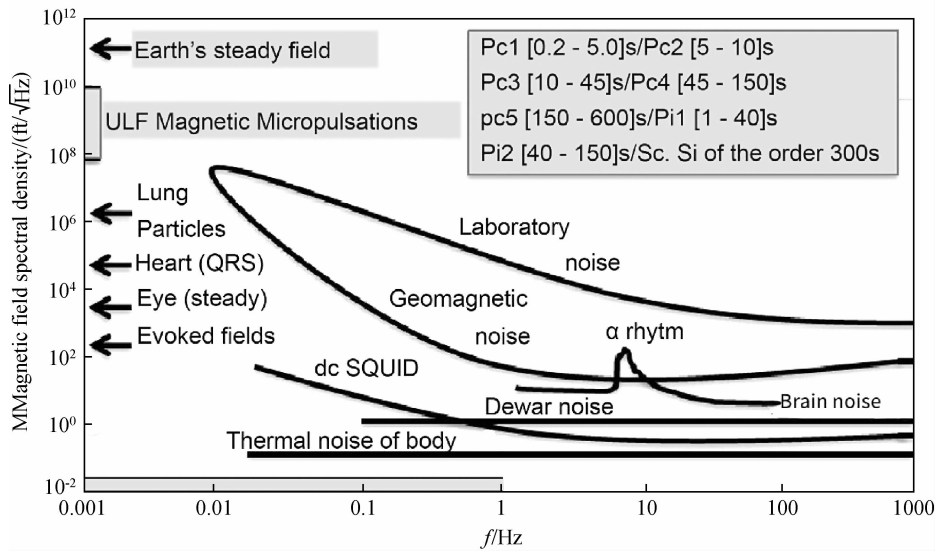


图 4 典型生物磁源和噪声源产生的场的峰值振幅(箭头所示)和谱密度(de Assis *et al.* , 2019)  
Fig.4 Peak amplitude (arrows) and spectral densities of fields due to  
typical biomagnetic and noise sources(de Assis *et al.* , 2019)

程度与 GMA 水平之间存在明显而强烈的相关性. 在所有记录的偏头痛发作中,其分布如下:25.9%, I<sub>0</sub>; 28.3%, II<sub>0</sub>; 34.3%, III<sub>0</sub>;重度疼痛与 GMA 水平的相关系数为 0.96.

2 对精神类疾病的影响

沈超等(1996)通过统计分析研究得出,地磁活动会对人体内分泌水平及神经系统具有一定的调制作用,并显著地影响着人类的心理、神经、精神疾病状况.

颅骨的电导率低于脑组织的电流,产生脑磁图信号的电流主要局限于颅内空间. 它的磁导率非常接近真空,所以头部不会使磁场分布变形太大,在日常生活中也不能很好地屏蔽外部磁场. 因此地磁场,不论时间变化的各种状态,在子风暴和风暴条件下,都可以泄漏到头骨和到达大脑的白色/灰色区域,从而可能与我们的突触电位/电流诱导虚假电荷运输,导致可以感觉到一个更敏感的大脑系统(de Assis *et al.* , 2019). 可以产生时变的背景磁场,例如在地球的 ULF 电磁微脉冲到达时,或由于磁风暴和亚风暴. 虽然我们已经适应了日常生活背景地磁场(这取决于当地的海拔,纬度和经度——考虑到一个环形坐标系),但其中一个坐标的变化会导致大脑背景磁场的变化,据推测这很可能是大脑在地球不同区域时调整不对称的原因(de Assis *et al.* ,

2019).

图 4 展示了典型生物磁源和噪声源产生的磁场的峰值振幅(箭头所指)和谱密度(de Assis *et al.* , 2019). *y* 轴表示磁场的谱密度,单位是飞母托特斯拉(femto Tesla, fT)每赫兹(Hz)的平方根;*x* 轴是频率,单位是赫兹(Hz),其中黄色显示了两个的频率相互作用的区域. 考虑到大脑对外部弱磁场的响应机制主要基于共振,因此可以合理地假设具有相似局部振荡频率的局部地磁场可能引起可测量的生物效应(Hämäläinen *et al.* , 1993; Potemra *et al.* , 1996; Cherry, 2002).

例如,在 10 Hz 频率范围内的  $\alpha$  节奏可能与交流状态下的地磁地球磁场相互作用. 此外,生物磁噪声可能在 0.01 Hz 至 1 Hz 的频率范围内被放大. 连续的 Pc5ULF 微脉动和不规则的微脉动 Sc 和 Si 可能是驱动大脑磁共振的良好候选者(Stoupel *et al.* , 2007; de Assis *et al.* , 2019; Hämäläinen *et al.* , 1993; Potemra *et al.* , 1996; Cherry, 2002).

根据 Stoupel 等(2007)开展的研究显示,女性自杀的数据与 GMA 的发生有相关联系,在调查的年份中,女性自杀数据与 CRA 的发生显著相关.

研究认为有必要做更加深入严格的流行病学评估地磁场活动中的 ULF 波、磁暴、亚暴影响大脑的突触动力学过程,并探讨可能诱发大脑信息网络流动力学的“损害”,如诱导自杀倾向和抑郁(de Assis

*et al.*, 2019).

3 对人体正常生理状态和其他疾病的影响

3.1 神经系统

众所周知,中枢神经系统(Central Nervous System, CNS),尤其是下丘脑,对心血管系统有着重要的影响,无论是直接影响还是通过内分泌系统而形成的间接影响.为了研究这些系统与GMA变化的关系,Stoupel(2002)研究了人类生长激素(Growth Hormone, GH)和催乳素(Prolactin, PRL)的水平对心脑血管系统的影响,以及17-酮甾体(KS)、17-羟基酮甾体(17-OHKS)和11-羟基酮甾体(11-OHKS),其作为应激反应过程的一部分,由肾上腺分泌,也参与调节血管张力,动脉血压和一般反应性,研究表明GMA变化影响着中枢神经系统,从而间接影响了人类心血管系统的运行.

痛觉的产生与CNS的控制有着密切的关系(Moayedi and Davis, 2013).Galic和Persinger(2007)研究表明地磁活动对痛觉也有一定的影响,且地磁活动对痛觉的影响的机制不是急性的,地磁活动对影响行为的疼痛信号通路的干涉需要时间.

舒曼共振频率和电离层扰动、地磁活动都有关系(倪彬彬和赵正予,2005).人脑的初级频率与舒曼共振(SRs)相似,人类脑波和SRs之间的实时一致性可以在全球范围内实现,SRs的功率与一致性的程度有关.McCraty等(2017)所做的一项研究表明,太阳和地磁活动的变化与人类神经系统活动的变化有一定的联系.总的来说,日常的自主神经系统活动不仅对太阳和地磁活动的变化会作出反应,而且与地磁磁力线共振和舒曼共振相关的时变磁场同步.对于太阳和地磁场如何影响人类神经系统活动的一种可能解释是:人类的神经系统与地球电离层共振腔中与生理节律重叠的地磁频率( $\alpha$ 波)或超低频驻波之间存在共振耦合.

3.2 非特异性适应性应激反应

地磁活动可以影响来自不同类群代表的各种生物过程.多种生物反应,包括行为的变化、心脏活动的生理特征、细胞遗传学异常等.这些影响可能是对地磁风暴的非特异性应力反应的结果.Krylov(2017)所做一项研究早前描述了地磁风暴期间人类的非特异性适应性应激反应,其伴随着应激激素产生率的变化,大多数研究都报道了地磁活动的一般生物学效应,但磁受体仍然是未知的.地磁活动对生化或分子生物学参数的影响可能使我们更接近于

了解地磁风暴影响生物体的机制.

3.3 多发性硬化症(Multiple Sclerosis, MS)

MS是最常见的一种中枢神经脱髓鞘疾病.Sajedi和Abdollahi(2017)的一项研究表明,GMD的发生次数主要取决于地磁纬度上的位置和空间天气.在轻度至中度的GMA期间,高纬度地区经历了地磁暴,在地磁暴发生时,整个地球将经历显著的GMD.研究者发现GMD与MS发病率的变化之间存在明显的相关性,GMDs(Ap指数)的变化与MS的长期发病率呈正相关,并且在全球GMD发生后不久,MS患者的入院人数就会显著增加(Papathanasopoulos *et al.*, 2016).

3.4 褪黑素

褪黑素具有广泛的生物效应,其可以通过某种过程来发挥抗神经损伤作用(Koh, 2008).GMA的变化所产的生理和行为上改变的中心机制目前尚不明确,但所提出的机制暗示了地磁干扰与大脑中褪黑激素调节之间的联系.松果体是中枢神经系统中褪黑激素的最大来源,也可能作为检测地磁性的受体(Galic and Persinger, 2007).Galic和Persinger(2007)所做的研究有证据表明,地磁扰动与松果体褪黑激素释放的减少有关.由于已知褪黑素在给予小鼠时具有镇痛作用,GMA的发生可能会导致褪黑素合成的减少,从而引起疼痛阈值的降低.

3.5 凝血系统

凝血系统在人体内循环的平衡过程中起着至关重要的作用.Azcárate和Mendoza(2017)通过对多组患者和健康志愿者(献血者)进行的一项研究发现,不同环境产生的GMA均会引起人体凝血参数的变化.例如当某天的GMA比较活跃时,试验者的凝血参数有显著的变化(Dimitrova, 2005).

3.6 血浆电解质

Stoupel(2002)的一项研究中发现,人体在一天中不同的GMA水平下对钾、钠、镁这三种电解质的血浆水平没有差异,但对血浆电解质水平观察的实验由于存在部分干扰(如钾、镁电解质主要集中在细胞内,而血浆水平不足以考虑其动态变化),不能完全下定论,所以GMA在一定程度上对血浆电解质有相关性,有待考量.

4 结 论

近年来,国际上多个研究团队通过实验发现了地磁活动与人体健康之间存在显著的相关性.本文通过综述相关研究文献,得到了地磁活动对人体健



康影响的结论:

(1) 血压: GMA 发生次数与血压参数之间的相关性表明地磁场通过影响人体生理过程进而导致血压升高或不稳定; GMA 可以通过降低人体动脉压力反射的敏感性影响心血管系统。

(2) 心肌梗死: 地磁场的共振频率与心血管系统中的频率相似, 特定频率的地磁场与心脏生理振动频率相互关联, 从而导致心肌梗死的发生; GMA 以及高宇宙射线活动与急性心肌梗死事件的发生存在相关性, GMA 通过影响心脏系统的稳定性, 导致心肌梗死的发生。

(3) 心房颤动: 太阳活动变化引发的 GMA 波动可能与人体生理节律发生共振, 最终对人类心脏系统产生负面影响, 导致心房颤动发生; 宇宙射线活动引发的地磁扰动与人类心房颤动的发生趋势吻合, 二者之间具有相关性。

(4) 缺血性心脏病: GMA 波动与心脏生理振荡相互作用, 使冠状动脉发生不适当的收缩, 最终引发缺血性心脏病; 高 GMA 水平下, 缺血性心脏病的发病率和死亡率明显上升, 进一步提供了 GMA 与缺血性心脏病之间的关联性证明。

(5) 室性心动过速: 长期频繁的室性心动过速发作与猝死病例相关。高 GMA 水平下, 室性心动过速的发作次数明显增多, 从而增加了猝死的风险。

(6) 偏头痛: 偏头痛发作的严重程度与 GMA 存在显著相关性。高 GMA 水平下, 偏头痛更频繁且更为剧烈。

(7) 精神类疾病: 地球的超低频电磁微脉冲与人体相互作用, 导致弱地磁场与大脑共振。不同频率范围的 GMA 与大脑局部震荡频率相互匹配, 引发相互作用; 连续的 PC5 ULF 微脉动和不规则微脉动可能驱动大脑共振, 对精神状况产生影响; 女性自杀数据与 GMA 的发生存在显著相关性。

(8) 神经系统: GMA 变化影响生长激素和催乳素水平, 这些激素参与调节血管张力、动脉血压和一般反应性, 间接影响心血管系统的运行; GMA 通过干涉疼痛信号通路影响痛觉; 人脑初级频率与舒曼共振相似, GMA 可能通过共振耦合机制影响神经系统。

(9) 非特异性适应性应激反应: GMA 变化引发多种生物反应, 包括行为改变、心脏活动的生理特征变化以及细胞遗传学的异常, 这些生物效应可能是地磁风暴引发的非特异性应激反应的结果; 不同 GMA 状态与生理和行为反应之间存在影响, 涉及神

经、内分泌和细胞水平的生物变化。

(10) 多发性硬化症: GMA 强度变化与多发性硬化症长期发病率之间存在正相关关系。高 GMA 水平时期, 多发性硬化症的患病率显著上升。

(11) 褪黑素: GMA 影响松果体功能, 干扰褪黑素产生。高 GMA 水平下, 褪黑素水平波动, 影响人体正常睡眠和生理节律, 产生负面影响。

(12) 凝血系统: 强烈 GMA 的发生与凝血参数相关, GMA 可以干预血液凝结特性, 从而影响凝血系统。

(13) 血浆电解质: 尽管不同 GMA 水平下电解质的血浆水平无显著差异, 但钾和镁主要存在于细胞内, 血浆水平无法完全反映其动态变化, 因此 GMA 与血浆电解质有一定相关性。

虽然目前大量的实验已经证明了地磁活动对人类健康会产生负面影响, 但笔者认为以下几个方面的内容未来还具有非常重要的研究价值:

(1) 建立全面的地磁活动影响人类健康的理论研究体系。体系包括多学科的内容(如生理学、神经科学、医学和地球物理学、电磁学), 能够从定量的角度刻画地磁活动对人类健康影响的详细过程, 深入挖掘两者之间的内在关系和影响。

(2) 研究地磁活动事件的预测预警方法。采用现有的智慧地球技术研究有效的地磁活动事件的预测预警方法, 确保能够自动准确的预测某个地磁活动事件的发生, 为相关医护人员和患者提供预警服务, 降低地磁活动对个人健康的负面影响。

(3) 研究地磁活动危害防御防护措施。借助现有的材料科学、电子科学等技术研究地磁活动防御防护措施, 以降低地磁活动危害对人体健康的影响。

**致 谢** 感谢评审专家提出的宝贵意见和编辑部的大力支持!

## References

- Azcárate T, Mendoza B. 2017. Influence of geomagnetic activity and atmospheric pressure in hypertensive adults. *International Journal of Biometeorology*, 61(9): 1585-1592.
- Azcárate T, Mendoza B, Levi J R. 2016. Influence of geomagnetic activity and atmospheric pressure on human arterial pressure during the solar cycle 24. *Advances in Space Research*, 58(10): 2116-2125.
- Babuín L, Jaffe A S. 2005. Troponin: the biomarker of choice for the detection of cardiac injury. *Cmaj*, 173(10): 1191-1202.
- Cherry N. 2002. Schumann Resonances, a plausible biophysical mechanism for the human health effects of Solar. *Natural Hazards*, 26(3): 279-331.

- Clarke E, Clilverd M, Macmillan S. 2008. Geomagnetic and solar variability and natural climate change. //New Advances in Geophysics, Geophysics of Global Climate Change. Burlington House, London.
- de Assis A S, da Silva C E, Cury C. 2019. Can Earth's ULF magnetic micropulsations induce brain's spurious activities?. Open Access Library Journal, 6(8): e4835, doi: 10.4236/oalib.1104835.
- Dimitrova S. 2005. Influence of local geomagnetic variations of solar origin on persons with a different blood pressure degree. // Proceedings of the 11th European Solar Physics Meeting-The Dynamic Sun: Challenges for Theory and Observations.
- Dimitrova S. 2006. Geo-effective heliophysical variations and human physiological state. Sun and Geosphere, 1(1): 47-50.
- Galic M A, Persinger M A. 2007. Lagged association between geomagnetic activity and diminished nocturnal pain thresholds in mice. BioElectroMagnetics, 28(7): 577-579.
- Gmitrov J. 2007. Geomagnetic field modulates artificial static magnetic field effect on arterial baroreflex and on microcirculation. International Journal of Biometeorology, 51(4): 335-344.
- Gmitrova A, Gmitrov J. 1990. Effect of a permanent magnetic field on blood pressure regulation. Journal of Bioelectricity, 9(1): 79-83.
- Halberg F, Cornélissen G, Panksepp J, *et al.* 2005. Chronomics of autism and suicide. Biomedicine & Pharmacotherapy, 59 (S1): S100-S108.
- Hämäläinen M, Hari R, Ilmoniemi R J, *et al.* 1993. Magnetoencephalography—theory, instrumentation, and applications to noninvasive studies of the working human brain. Reviews of Modern Physics, 65(2): 413-497.
- Jacobs J A, Westphal K O. 1964. Geomagnetic micropulsations. Physics and Chemistry of the Earth, 5: 157-224.
- Jaruševičius G, Rugelis T, McCraty R, *et al.* 2018. Correlation between changes in local earth's magnetic field and cases of acute myocardial infarction. International Journal of Environmental Research and Public Health, 15(3): 399, doi: 10.3390/ijerph15030399.
- Jia J P, Chen S D. 2013. Neurology (in Chinese). 7th ed. Beijing: People's Medical Publishing House.
- Jin W, Zhang X X, Song Y, *et al.* 2017. Progress of research on the effect of geomagnetic activity on climatic elements. Chinese Journal of Geophysics (in Chinese), 60(4): 1276-1283, doi: 10.6038/cjg20170404.
- Khabarova O V, Dimitrova S. 2008. Some proves of integrated influence of geomagnetic activity and weather changes on human health. arXiv preprint arXiv: 0810.0457.
- Khabarova O V, Dimitrova S. 2009. On the nature of people's reaction to space weather and meteorological weather changes. Sun and Geosphere, 4(2): 60-71.
- Kleimenova N G, Kozyreva O V, Breus T K, *et al.* 2007a. Pc1 geomagnetic pulsations as a potential hazard of the myocardial infarction. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 69 (14): 1759-1764.
- Kleimenova N G, Kozyreva O V, Breus T K, *et al.* 2007b. Seasonal variations in myocardial infarctions and the possible biotropical influence of short-period geomagnetic pulsations on the human cardiovascular system. Biophysics, 52(6): 625-631.
- Koh P O. 2008. Melatonin prevents the injury-induced decline of Akt/forkhead transcription factors phosphorylation. Journal of Pineal Research, 45(2): 199-203.
- Krylov V V. 2017. Biological effects related to geomagnetic activity and possible mechanisms. Bioelectromagnetics, 38(7): 497-510.
- Li G X. 2019. The correlation study between geomagnetic activity and heart rate variability in patients with coronary heart disease in Yunnan [Master's thesis] (in Chinese). Kunming: Kunming Medical University.
- Liu L S. 2011. 2010 Chinese guidelines for the management of hypertension. Chinese Journal of Hypertension (in Chinese), 19 (8): 701-743, doi: 10.16439/j.cnki.1673-7245.2011.08.009.
- Mavromichalaki H, Papailiou M C, Gerontidou M, *et al.* 2021. Human physiological parameters related to solar and geomagnetic disturbances: data from different geographic regions. Atmosphere, 12(12): 1613, doi: 10.3390/atmos12121613.
- McCraty R, Atkinson M, Stolz V, *et al.* 2017. Synchronization of human autonomic nervous system rhythms with geomagnetic activity in human subjects. International Journal of Environmental Research and Public Health, 14(7): 770, doi: 10.3390/ijerph14070770.
- Moayed M, Davis K D. 2013. Theories of pain: from specificity to gate control. Journal of Neurophysiology, 109(1): 5-12, doi: 10.1152/jn.00457.2012.
- Mu N H. 2015. The analysis of correlation between acute myocardial infarction and coronal mass ejection of solar activity [Master's thesis] (in Chinese). Kunming: Kunming Medical University.
- Ni B B, Zhao Z Y. 2005. Spatial observations of Schumann resonance at the ionospheric altitudes. Chinese Journal of Geophysics (in Chinese), 48(4): 744-750.
- Papathanasopoulos P, Preka-Papadema P, Gkotsinas A, *et al.* 2016. The possible effects of the solar and geomagnetic activity on multiple sclerosis. Clinical Neurology and Neurosurgery, 146: 82-89.
- Potemra T A, Gary J B, Zanetti L J. 1996. Magnetic fields associated with magnetospheric currents. //International Workshop on Magnetospheric Plasmas. Rio de Janeiro, 30-51. Presman A S. 1970. Environmental electromagnetic fields and the vital activity of organisms. //Brown F A ed. Electromagnetic Fields and Life. New York: Springer, 198-234.
- Saito T. 1969. Geomagnetic pulsations. Space Science Reviews, 10(3): 319-412.
- Sajedi S A, Abdollahi F. 2017. Which environmental factor is correlated with long-term multiple sclerosis incidence trends; ultraviolet B radiation or geomagnetic disturbances?. Multiple Sclerosis International, 2017: 4960386, doi: 10.1155/2017/4960386.
- Shen C, Liu Z X, Zhang H. 1996. Effects of the solar-terrestrial space environment on human aggressive emotions. //Proceedings of the Twelfth Annual Symposium of the Chinese Geophysical Society 1996 (in Chinese). Xi'an, 1.
- Stoupe E. 2008. Atherothrombosis; environmental links. Journal of Basic and Clinical Physiology and Pharmacology, 19(1): 37-48.
- Stoupe E, Martfel J N, Rotenberg Z. 1994. Paroxysmal atrial fibrillation and stroke (cerebrovascular accidents) in males and females above and below age 65 on days of different geomagnetic activity levels. Journal of Basic and Clinical Physiology and Pharmacology, 5(3-4): 315-329.
- Stoupe E. 1999. Effect of geomagnetic activity on cardiovascular parameters. Journal of Clinical and Basic Cardiology, 2(1): 34-40.
- Stoupe E. 2002. The effect of geomagnetic activity on cardiovascular parameters. Biomedicine & Pharmacotherapy, 56(S2): 247-256, doi: 10.1016/S0753-3322(02)00299-8.
- Stoupe E, Domarkiene S, Radishauskas R, *et al.* 2004. Links between monthly rates of four subtypes of acute myocardial infarction and their corresponding cosmophysical activity parameters. Journal of Basic and Clinical Physiology and Pharmacology, 15(3-4): 175-184.
- Stoupe E, Babayev E S, Abramson E, *et al.* 2013. Days of "Zero" level geomagnetic activity accompanied by the high neutron activity and dynamics of some medical events—Antipodes to geomagnetic storms. Health, 5(5): 855-861, doi: 10.4236/health.2013.55113.
- Stoupe E, Kalėdienė R, Petrauskienė J, *et al.* 2007. Clinical cosmobiology: distribution of deaths during 180 months and cosmophysical activity. The Lithuanian study, 1990-2004. The role of cosmic rays. Medicina, 43(10): 824-831.
- Stoupe E, Radishauskas R, Bernotiene G, *et al.* 2018. Blood troponin levels in acute cardiac events depends on space weather activity components (a correlative study). Journal of Basic and Clinical Physiology and Pharmacology, 29(3): 257-263.
- Stoupe E, Tamosiunas A, Radishauskas R, *et al.* 2010. Acute myocardial infarction (AMI) and intermediate coronary syndrome (ICS). Health, 2(2): 131-136.
- Stoupe E, Tamosiunas A, Radishauskas R, *et al.* 2012. Acute myocardial infarction (AMI) (n-11026) on days of zero

geomagnetic activity (GMA) and the following week: differences at months of maximal and minimal solar activity (SA) in solar cycles 23 and 24. *Journal of Basic & Clinical Physiology & Pharmacology*, 23(1): 5-9, doi: 10.1515/jbcpp-2012-0001.

Su W H, Huo Q, Dong L, *et al.* 2017. Influence of the geomagnetic activity caused by coronal mass ejections on hemorheology in patients with stable angina. *Chinese General Practice (in Chinese)*, 20(35): 4383-4386, 4390.

Wang V A, Zilli Vieira C L, Garshick E, *et al.* 2021. Solar activity is associated with diastolic and systolic blood pressure in elderly adults. *Journal of the American Heart Association*, 10(21): e021006, doi: 10.1161/JAHA.120.021006.

Wang Y M. 2018. Research on noninvasive continuous blood pressure measurement based on elman neural network [Master's thesis] (in Chinese). Changchun: Jilin University.

Zenchenko T A, Medvedeva A A, Khorseva N I, *et al.* 2014. Synchronization of human heart-rate indicators and geomagnetic field variations in the frequency range of 0.5 ~ 3.0 mHz. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 50(7): 736-744.

Zeng Z Q, Wang M Y, Xia G H, *et al.* 1995. An investigation on the association between incidence of coronary heart disease and stroke and solar and geomagnetic activities. *Geographical Research (in Chinese)*, (3): 88-96.

金巍, 张效信, 宋燕, 等. 2017. 地磁活动对气候要素影响的研究进展. *地球物理学报*, 60(4): 1276-1283, doi: 10.6038/cjg20170404.

李冠羲. 2019. 地磁活动与云南地区冠心病患者心率变异相关性研究[硕士论文]. 昆明: 昆明医科大学.

刘力生. 2011. 中国高血压防治指南 2010. *中华高血压杂志*, 19(8): 701-743, doi: 10.16439/j.cnki.1673-7245.2011.08.009.

穆宁晖. 2015. 云南地区急性心肌梗死与日冕物质抛射(CME)-地磁活动相关性研究[硕士论文]. 昆明: 昆明医科大学.

倪彬彬, 赵正予. 2005. 电离层舒曼共振的空间观测. *地球物理学报*, 48(4): 744-750.

沈超, 刘振兴, 张洪. 1996. 日地空间环境对人类攻击性情绪的影响. //1996年中国地球物理学会第十二届学术年会论文集. 西安, 1.

苏文华, 霍倩, 董亮, 等. 2017. 日冕物质抛射引起地磁场变化对稳定型心绞痛患者血液流变学的影响. *中国全科医学*, 20(35): 4383-4386, 4390.

王月猛. 2018. 基于 Elman 神经网络的无创连续血压测量方法研究[硕士论文]. 长春: 吉林大学.

曾治权, 王明远, 夏国辉, 等. 1995. 北京地区冠心病和脑卒中发病与太阳、地磁活动关系的探讨. *地理研究*, (3): 88-96.

附中文参考文献

贾建平, 陈生弟. 2013. 神经病学. 7 版. 北京: 人民卫生出版社.